

Ві ЭРИТМАСИДА ЎСТИРИЛГАН ҚАТТИҚ ЭРИТМА ЭПИТАКСИАЛ ҚАТЛАМИНИНГ СИРТНИ ИЎРГАНИШ

А.С. Саидов

ЎзФА физика-техника институти ф.м.ф.д проф.

Д.О. Эшонхўжаев

Андижон машинасозлик институти таянч докторанти

АННОТАЦИЯ

Ушбу мақолада $n\text{-GaAs-n}^+(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ тузилмалари ва Ві эритмасида ўстирилган $(\text{GaAs})_{1-y-x}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ эритманинг эпитаксиал қатлами юзаларининг спектрал фотосезувчанлиги бўйича сканерлаш зонд микроскопида олинган экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: қаттиқ эритма, эпитаксиал қатлам, нанокристаллар.

АННОТАЦИЯ

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований спектральной фоточувствительности $n\text{-GaAs-n}^+(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ структуры и поверхности эпитаксиальной пленки твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-y-x}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_x$ выращенной из Ві раствора-расплава на сканирующем зондовом микроскопе.

Ключевые слова: твердый раствор, эпитаксиальная пленка, нанокристаллы.

ABSTRACT

This paper presents the results of experimental studies of spectral photosensitivity of $n\text{-GaAs-n}^+(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ structures and surfaces of an epitaxial film of a solid solution $(\text{GaAs})_{1-y-x}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_x$ grown from a Bi melt solution on a scanning probe microscope.

Keywords: solid solution, epitaxial film, nanocrystals.

КИРИШ

Яримўтказгичли қаттиқ эритмаларни етиштириш замонавий яримўтказгич асбобларини ривожлантириш учун шубҳасиз қизиқиш уйғотади, чунки бир нечта яримўтказгич компонентларидан синтез қилинган қаттиқ эритма ҳар бир компонентнинг афзалликларини бирлаштириши мумкин [1,2,3,4]. Элементар

яримўтказгичлар ёки яримўтказгичли бирикмалар маълум бир қурилмани яратиш учун техник талабларга жавоб бермаса, талабларга жавоб берадиган бир нечта яримўтказгичларнинг янги қаттиқ эритмаси синтезланади. Шунинг таъкидлаш керакки, қаттиқ эритма нинг таркибини силлиқ ўзгартириш орқали материалнинг [5,6,7,8] асосий электрофизик ва оптик параметрларини бошқариш мумкин, масалан, тармоқли бўшлиқ, спектрал фотосезувчанлик минтақаси, панжара параметри ва бошқалар. Бошқа томондан, қурилмаларни яратиш учун мос бўлган юқори сифатли қаттиқ эритмани олиш учун қаттиқ эритма таркибий қисмларининг панжара параметрларининг яқинлиги катта аҳамиятга эга [9, 10]. Шу муносабат билан GaAs, ZnSe ва Ge компонентларидан ташкил топган қаттиқ эритма шубҳасиз қизиқиш уйғотади, чунки бу яримўтказгичлар молекулаларининг атомларининг ковалент радиуслари йиғиндиси жуда яқин ва улардаги тасма бўшлиғининг қийматлари (E_g) сезиларли даражада фарқ қилади ($E_{g, GaAs} = 1.43$ эВ, $E_{g, ZnSe} = 2.68$ эВ и $E_{g, Ge} = 0.67$ эВ) [11].

МАТЕРИАЛЛАР ВА УСУЛЛАР

GaAs, Ge ва ZnSe компонентлари ўртасида молекуляр алмаштиришнинг қаттиқ эритмасини шакллантириш имконияти (1) ва (2) формулаларда берилган мезонлар асосида баҳоланди.

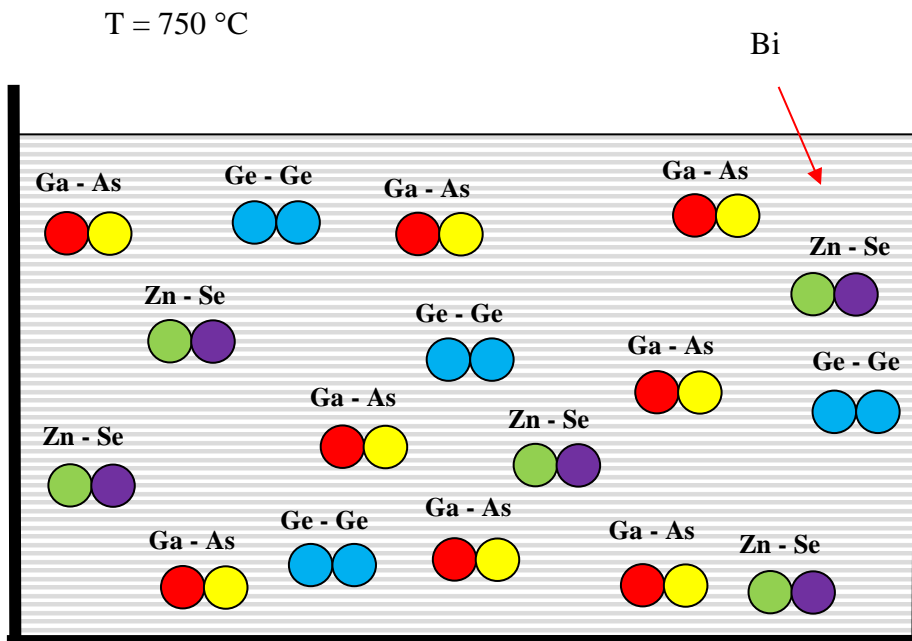
$$\Delta z = (z_{III} + z_V) - (z_{II} + z_{VI}) = 0 \quad (1)$$

$$\Delta r = |(r_{III} + r_V) - (r_{II} + r_{VI})| \leq 0.1 \cdot (r_{III} + r_V) \quad (2)$$

Ушбу мезонларга кўра, ўрнини босувчи компонентларнинг валентлиги бир хил (1) бўлиши керак ва молекулаларнинг ковалент радиусларидаги фарқ 10% дан ошмаслиги керак. Ушбу яримўтказгичларнинг молекулалари атомларининг ковалент радиусларининг йиғиндиси жуда яқин ($r_{Ga} + r_{As} = 2.44$ Å, $r_{Zn} + r_{Se} = 2.45$ Å и $r_{Ge} + r_{Ge} = 2.44$ Å) ва валентликлар бир хил ва 8 га тенг. Бинобарин, GaAs, Ge ва ZnSe компонентлари яхши кристаллографик тузилишга эга бўлган қаттиқ алмаштириш эритмасини ҳосил қилиши мумкин деб айтиш мумкин.

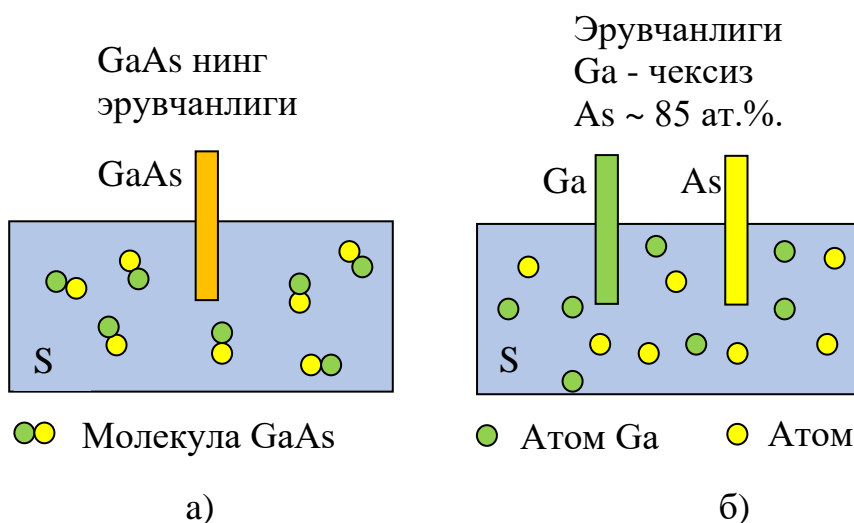
GaAs, Ge ва ZnSe ўртасида бундай қаттиқ эритмани етиштириш учун А.С.Саидов томонидан таклиф қилинган молекуляр компонентлар билан суюқ фаза модели асосида эришилган термодинамик шароитларни яратиш керак. [12-15]. Ушбу моделга кўра, $A^{III}B^{VI}$ ва $A^{II}B^{VI}$ синфидаги яримўтказгичли бирикмалар, шунингдек Ge ва Si каби элементар яримўтказгичлар суюқ металлларда эритилганда (Ga, Sn, In, Bi, Pb ва х.к.) тегишли моддаларнинг эриш нуқтаси анча паст ҳароратларда, молекулалар шаклида бўлади (1-расм).

GaAs va ZnSe ikkilik бирикмаларининг, шунингдек Bi -даги Ga, As, Zn va Se атом моддаларининг турли ҳароратларда эрувчанлиги ўрганилди.

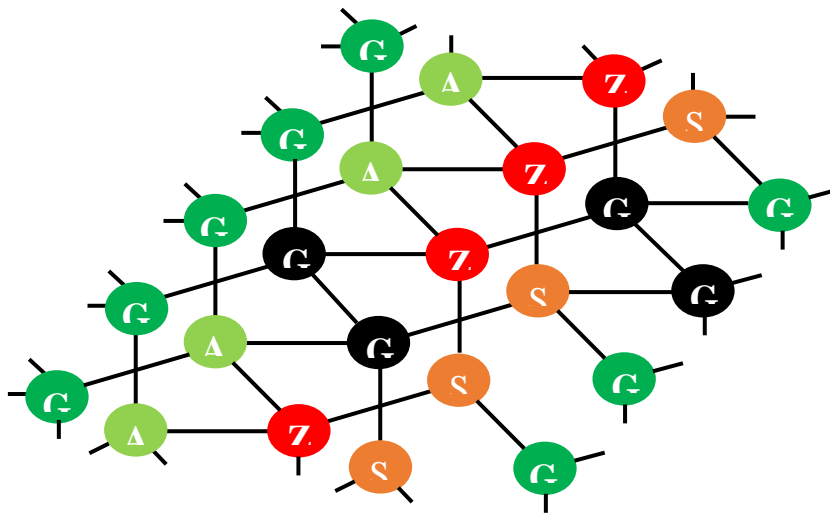


1-расм. 750 °C ҳароратда Bi да эриган GaAs, ZnSe va Ge₂ молекулалари

Танланган Bi-GaAs-ZnSe тизими учун ушбу моделнинг ҳақиқийлигини тасдиқлаш Bi-даги GaAs va ZnSe иккилик бирикмаларининг жуда паст эрувчанликка эга эканлигидир. Уларнинг алоҳида компонентлари, яъни Ga, As, Zn va Se, атом моддалари бир хил ҳароратларда Bi да чексиз ёки жуда юқори эрувчанликка эга (3 ва 4 расмлар). Бу шуни кўрсатадики, Bi да 750°C ҳароратда эриган GaAs va ZnSe иккилик бирикмалари алоҳида Ga va As атомларга, шунингдек Zn va Se атомларга парчаланмайди, балки GaAs va ZnSe молекулалари шаклида бўлади.

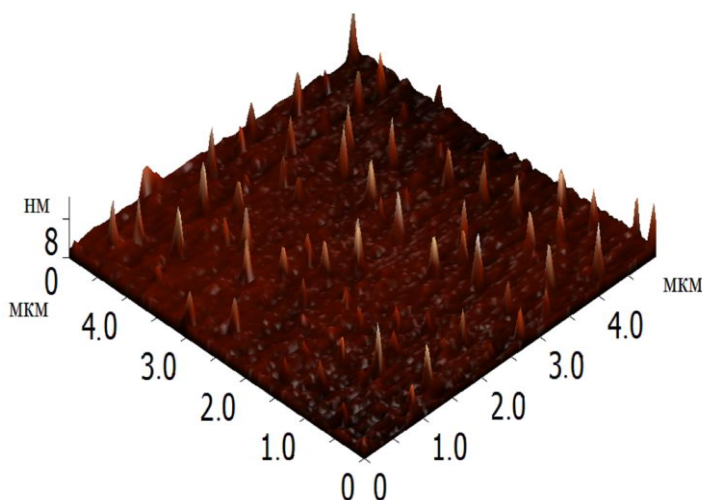


қаттиқ эритманинг фотосезувчанлик спектрида мос келадиган чўққиларнинг пайдо бўлишига ҳисса қўшиши мумкин.

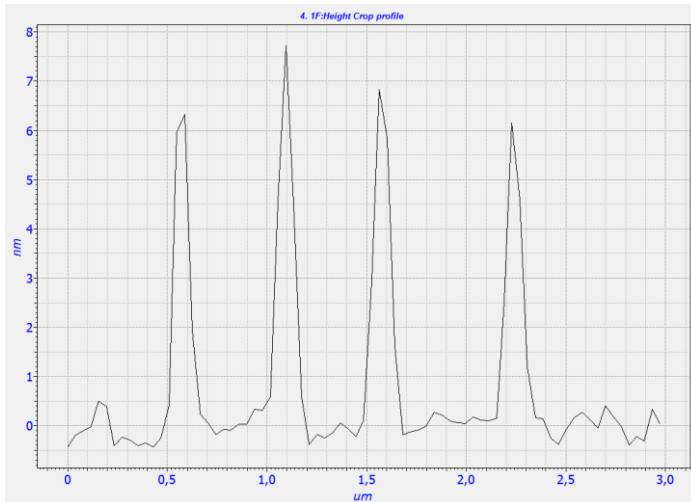


4-расм. $(\text{GaAs})_{1-y-z}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_z$ қаттиқ эритмасининг гипотетик кристалли панжараси.

Олинган эпитаксиал қатламларнинг юзаси SPM 9700HT (Shimadzu) сканерлаш зонд микроскопи ёрдамида текширилди. Қатламлар сиртини текширганда, нанокристаллар (5-расм) 6,5-7,5 нм баландлиги аниқланди. Нанокристаллар тагидаги кенглик $\sim 120-150$ нм эди (6-расм). Эпитаксиал қатлам юзасида квант нуқталарининг концентрацияси $2,5 \cdot 10^8 \text{см}^{-2}$ ни ташкил этди.



5-расм. Атом кучи микроскопи ёрдамида олинган эпитаксиал қатлам $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ юзасининг уч ўлчовли тасвирлари, тасвир ўлчами 5×5 МКМ²



6-расм. $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ қаттиқ эритма юзасидаги квант нукталарининг ўлчамлари кенглиги - 120-150нм, баландлиги - 6,5-7,5 нм, квант нукталари орасидаги масофа 300-450нм.

ХУЛОСА

Bi -эритмасидан иборат тагликнинг чекланган ҳажмида янги $(\text{GaAs})_{1-y-z}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_z$ ва GaAs (111) қаттиқ эритмасини ўстиришда молекуляр алмашнишларнинг физик ва технологик хусусиятлари ўрганилди.

$(\text{GaAs})_{1-y-z}(\text{Ge}_2)_y(\text{ZnSe})_z$ Қаттиқ эритмасининг битта кристалли эпитаксиал қатламларини ўстириш учун оптимал термодинамик шароитлар аниқланди.

ҲОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙҲАТИ: (REFERENCES)

- [1] Matteo Lusi. Engineering Crystal Properties through Solid Solutions. [Crystal Growth & Design](#). 2018, 18, 6, 3704–3712. April 30, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01643>
- [2] Titas Pramanik, Sounak Sarkar, Tayur N. Guru Row. Halogen Bonded Network Modulating the Mechanical Property Elastic and Plastic Bending in Nonconventional Molecular Solid Solutions. *Crystal Growth & Design* **2022**, 22 (1), 48-53. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.1c01089>
- [3] Sajesh P. Thomas, Reshmi Thomas, Thomas Bjørn E. Grønbech, Martin Bondesgaard, Aref H. Mamakhel, Victoria Birkedal, Bo B. Iversen. Bandgap Tuning in Molecular Alloy Crystals Formed by Weak Chalcogen Interactions. *The Journal of Physical Chemistry Letters* **2021**, 12 (12), 3059-3065. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.1c00614>
- [4] Lei He, Ping-Ping Shi, Meng-Meng Zhao, Cai-Ming Liu, Wen Zhang, Qiong Ye. Emergent Chirality and Nonlinear Optical Switching in a Ferroelastic Molecular Perovskite Solid Solution. *Chemistry of Materials* **2021**, 33 (2), 799-805. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c04735>
- [5] Reshmi Thomas, Sajesh P. Thomas, Harish Lakhotiya, Aref H. Mamakhel, Martin Bondesgaard, Victoria Birkedal, Bo B. Iversen. Tuning of bandgaps and emission

properties of light-emitting diode materials through homogeneous alloying in molecular crystals. *Chemical Science* **2021**, 12 (37) , 12391-12399. <https://doi.org/10.1039/D1SC03714E>

[6] Nyemaga Masanje Malima, Malik Dilshad Khan, Jonghyun Choi, Ram K. Gupta, Philani Mashazi, Tebello Nyokong, Neerish Revaprasadu. Solventless synthesis of nanospinel $\text{Ni}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) solid solutions for efficient electrochemical water splitting and supercapacitance. *RSC Advances* **2021**, 11 (49) , 31002-31014.

<https://doi.org/10.1039/D1RA04833C>

[7] Marc Fourmigué. Solid-solution (alloying) strategies in crystalline molecular conductors. *Journal of Materials Chemistry C* **2021**, 9 (33) , 10557-10572.

<https://doi.org/10.1039/D1TC02160E>

[8] Madaminov Kh.M. Influence of injection effects on the electrical properties of pSi – nSi1 – xSnx heterojunctions. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Natural Sciences*. 2021, no. 2 (95), p. 71-84. doi: 10.18698/1812-3368-2021-2-71-84

[9] A. S. Saidov, A. Sh. Razzakov, V. A. Risaeva, E. A. Koschanov "Liquid-Phase Epitaxy of Solid Solutions $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ", *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 68, Issues 1–3, (2001), pp. 1-6. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(00\)00230-3](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(00)00230-3)

[10] S.P. Suprun, V.N. Sherstyakova, "Epitaxy of ZnSe on GaAs as a Source of the ZnSe Compound", *Physics and Technology of Semiconductors*, Vol. 43, Issue. 11, pp. 1570-1575, 2009

[11] A. S. Saidov, Sh. N. Usmonov, and D. V. Saparov. Structural Studies of the Epitaxial Layer of a Substitutional Solid Solution $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ with Nanocrystals. *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2019*, Article ID 3932195, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2019/3932195>

[12] A. S. Saidov, A. Sh. Razzakov, V. A. Risaeva, E. A. Koschanov "Liquid-Phase Epitaxy of Solid Solutions $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ", *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 68, Issues 1–3, (2001), pp. 1-6. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(00\)00230-3](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(00)00230-3)

[13] A. S. Saidov, Sh. N. Usmonova, D. V. Saparov, and A. M. Akhmedov "Effect of Diatomic Silicon Molecular Impurities on the Luminescent Properties of Semiconductor Solid Solutions". *Applied Solar Energy*, 2020, Vol. 56, No. 3, pp. 178–185. doi: 10.3103/S0003701X20030093

[14] A. S. Saidov, M. S. Saidov, Sh. N. Usmonov, A. Yu. Leiderman, M. U. Kalanov, K. G. Gaimnazarov, and A. N. Kurmantaev. "Growth of $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ Solid Solution Films and Investigation of Their Structural and Some Photoelectric Properties". *Physics of the Solid State*, 2011, Vol. 53, No. 10, pp. 2012–2021. DOI: 10.1134/S1063783411100271

[15] Wang L.G. and Alex Zunger Dilute. Nonisovalent (II-VI)-(III-V) Semiconductor Alloys: Monodoping, Codoping, and Cluster Doping in ZnSe-GaAs // *Physical Review B*. 2003. Vol. 68. pp. 125211.1-125211.8.